

генератора мощностью 12,5 кВт. Полученные результаты удовлетворительно согласуются.

С помощью программы расчёта тепловых потоков во внутреннем контуре ДС разработаны рекомендации, направленные на снижение перетечки тепла из горячего в холодный цилиндр. По результатам скорректированного расчёта шатл-эффект снизился с 204 Вт до 12 Вт, насосные потери с 496 Вт до 43 Вт, перетечка тепла внутри поршня-вытеснителя уменьшилась с 128 Вт до 24 Вт. Суммарный тепловой поток рассматриваемыми явлениями удалось снизить с 828 Вт до 79 Вт. За счёт предлагаемых мероприятий удалось снизить суммарный негативный тепловой поток в ДС на 749 Вт или более чем в 10 раз.

За счёт рационального изменения КТС сопряжений элементов корпусных конструкций и цилиндрических втулок удалось добиться снижения теплового потока по корпусным элементам с 1970 Вт до 1334 Вт, по втулкам цилиндра с 88 Вт до 7 Вт.

Суммарные тепловые потери снизились на 1385 Вт.

Эффективный КПД двигателя без учёта рассматриваемых явлений составляет 27,7%. КПД двигателя с учётом изучаемых явлений, но без учёта изменений конструкции, направленных на перераспределение тепловых потоков во внутреннем контуре, составляет 26,6%. Расчётный эффективный КПД двигателя после реализации мероприятий, направленных на снижение шатл-эффекта, насосных потерь, тепловых перетечек внутри вытеснителя и тепловых потоков по элементам конструкции машины, составляет 28,8%. Предполагаемое увеличение КПД составляет 2%.

Было выполнено исследование целесообразности применения методов изменения КТС в других деталях и узлах двигателя 1Р30/6.

Результаты исследования и разработанные методики позволяют разрабатывать конструктивные мероприятия, направленные на повышение эффективности термодинамического цикла и надёжности ДС посредством перераспределения тепловых потоков во внутреннем контуре КТС, шатл-эффектом, насосными потерями и перетечками внутри вытеснителя.

УДК 621.452 (07)

ИЗОТЕРМИЧЕСКОЕ РАСШИРЕНИЕ В ТУРБИНЕ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ

©2016 М.А. Мураева

Уфимский государственный авиационный технический университет

ISOTHERMAL EXPANSION IN TURBINE OF GAS TURBINE ENGINE

Muraeva M.A. (Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russian Federation)

The work is devoted to a comprehensive study of application of isothermal expansion in GTE turbine as an alternative approach to its improvement. The studies made allowed revealing the advantages and disadvantages of isothermal expansion in turbine as part of GTE operation process, stipulating the problems and issues for further study, as well as identifying a possible application field of isothermal expansion in gas-turbine equipment.

Уровень термогазодинамического совершенства газотурбинных двигателей (ГТД) с каждым десятилетием приближается к своему пределу, что относится как к показателям эффективности работы узлов ГТД, так и к основным термодинамическим параметрам рабочего цикла ГТД. Поэтому из года в год возрастает количество исследований, посвя-

щенных организации работы ГТД по различным сложным термодинамическим циклам с целью совершенствования рабочего процесса[1].

Одним из направлений исследований в этой области является применение цикла ГТД с изотермическим расширением в турбине, в котором подвод тепла за счёт сжига-

ния топлива осуществляется как в основной камере сгорания, так и в канале турбины (рис. 1).

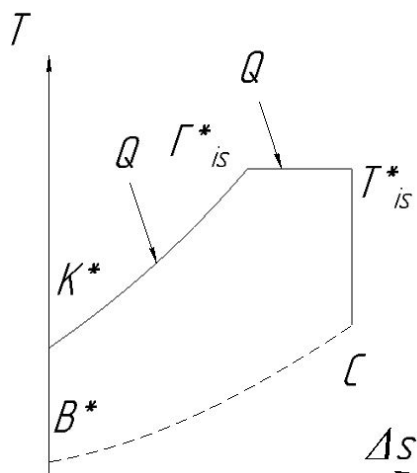


Рис. 1. Идеальный цикл ГТД с изотермическим расширением

Проблема возможности и целесообразности организации изотермического расширения в турбине ГТД изучена мало, однако исследуется рядом зарубежных организаций [2-4].

В данной работе выполнено комплексное исследование применения изотермического расширения в составе термодинамического цикла ГТД, включающее в себя решение следующих задач:

1. Формирование теоретических основ изотермического расширения в турбине ГТД.

2. Анализ идеального цикла ГТД с изотермическим расширением, вывод уравнений работы и КПД такого цикла, а также сравнение идеальных циклов ГТД с адиабатическим и изотермическим расширением в турбине.

3. Формирование и программная реализация алгоритма термодинамического расчёта ГТД с изотермическим расширением в турбине.

4. Расчётные исследования применения цикла с изотермическим расширением в турбине в ГТД различных схем на взлётном режиме и в полётном цикле без учёта влияния изотермичности расширения на режим работы турбины.

5. Численное исследование некоторых аспектов подвода топлива в межлопаточный

канал одноступенчатой турбины высокого давления (ТВД).

6. Анализ рабочего процесса ТВД с изотермическим расширением на основе 3D моделирования, сравнение с рабочим процессом ТВД с адиабатическим расширением при одинаковых геометрических параметрах турбины на расчётном режиме.

7. Расчёт характеристики одноступенчатой ТВД с изотермическим расширением на основе 3D модели, сравнительный анализ характеристики ТВД с адиабатическим и изотермическим расширением.

8. Получение поправок характеристики одноступенчатой турбины на изотермичность расширения для применения в термодинамических расчётах ГТД.

9. Расчётные исследования применения цикла с изотермическим расширением в составе ГТД различных схем на взлётном режиме и в полётном цикле с учётом влияния изотермического расширения на режим работы турбины.

Проведённые исследования позволили выявить преимущества и недостатки изотермического расширения в турбине как части рабочего процесса ГТД, обозначить проблемы и вопросы для дальнейших исследований, а также выделить возможную область применения изотермического расширения в газотурбинной технике.

Среди областей возможного применения изотермического расширения в ГТД можно выделить две наиболее целесообразные:

- ТРД, в особенности для ЛА со сверхзвуковой скоростью полёта;
- ТРДД с небольшой степенью двухконтурности для ЛА со сверхзвуковой крейсерской скоростью полёта.

Организация изотермического расширения в турбине ГТД на данный момент является новой, малоизученной проблемой. Существует ряд очевидных трудностей, прежде всего, связанных с организацией подвода и сгорания топлива в канале турбины, а также обеспечением приемлемого температурного состояния рабочей лопатки турбины. В представленной работе эти проблемы не решены, поскольку работа посвящена исследованию изотермического расширения на уровне термодинамических расчётов ГТД

и формированию общего представления о газодинамике турбины с изотермическим расширением. Однако представленная работа позволяет сделать вывод о целесообразности проведения более глубоких исследований изотермического расширения с целью решения указанных проблем.

Библиографический список

1. Скибин В.А., Солонин В.И., Палкин В.А. Работы ведущих авиадвигателестроительных компаний в обеспечение создания перспективных авиационных двигателей (аналитический обзор). Казань: филиал ОАО

«ТАТМЕДИА» «ПИК «Идеал-Пресс», 2010. 676 с.

2. Bachovchin D.M., Lippert T.E., Newby R.A., Cizmas P.G.A. Gas turbine reheat using in situ combustion. Siemens Westinghouse Power Corporation, Final Report, May, 2004. – 112p.

3. Thornburg H., Sekar B., Zelina J. and etc. Numerical study of an inter-turbine burner concept with curved radial vane// AIAA Paper-2007-649, January 2007.

4. Sirignano W.A., Liu. F. Performance increases for gas turbine engines through combustion inside the turbine// Journal of Propulsion and Power, Vol. 15, No.1, January-February, 1999. P. 111–118.

УДК 621.452 (07)

ХАРАКТЕРИСТИКА ТУРБИНЫ С ИЗОТЕРМИЧЕСКИМ РАСШИРЕНИЕМ И УЧЁТ ЕЁ ВЛИЯНИЯ НА ВЫСОТНО-СКОРОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ

©2016 М.А. Мураева, И.М. Горюнов

Уфимский государственный авиационный технический университет

CHARACTERISTICS OF TURBINE WITH ISOTHERMAL EXPANSION AND EVALUATION OF ITS INFLUENCE ON GTE HEIGHT-SPEED CHARACTERISTICS

Muraeva M.A., Gorjunov I.M. (Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russian Federation)

This work is part of the study of application of isothermal expansion in GTE turbine as an alternative approach to its improvement. The work is aimed to calculate and analyze the characteristics of turbine with isothermal expansion and study the influence of turbine operation mode on HSC process.

Альтернативным способом совершенствования термодинамического цикла газотурбинного двигателя (ГТД) является применение сложных термодинамических циклов, в частности, цикла с изотермическим расширением в турбине.

Данная работа является частью исследования применения изотермического расширения в турбине ГТД. В рамках этого исследования сформирована и реализована программно методика термодинамического расчёта ГТД с изотермическим расширением в турбине, на базе которой исследуется применение изотермического расширения в ГТД различных схем.

Данные о КПД и пропускной способности турбины с изотермическим расширением в публикациях в настоящий момент отсутствуют. Поэтому необходимо выпол-

нить расчёт и анализ характеристики турбины с изотермическим расширением, её сравнение с характеристикой турбины с адиабатическим расширением для возможности применения в термодинамических расчётах ГТД по сформированной методике.

Расчёт характеристики турбины с адиабатическим и изотермическим расширением выполнялся в трёхмерной постановке в ПК ANSYS CFX с использованием численной модели, представляющей собой комбинацию применяемых в инженерных расчётах моделей газодинамического расчёта турбины и камеры сгорания.

На основе расчётных исследований получены поправки характеристики одноступенчатой турбины высокого давления на изотермическое расширение, которые могут использоваться при пересчёте известной ха-